

ESTIMATIVA DA IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL UTILIZANDO A TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR EM LAGOA GRANDE, MG

MARIA J. H. de SOUZA, ARISTIDES RIBEIRO², FERNANDO P. LEITE³

1 Departamento de Agronomia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Rua da Glória 187, Diamantina, MG, CEP. 39100-000. Fone: (38) 3532 1200. E-mail: mariahatem@yahoo.com.br, mjhatem@ufv.br

2 Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, CEP: 36571-000. Fone (31) 3899 1906. E-mail: ribeiro@ufv.br

3 Empresa Celulose Nipo-Brasileira S. A. - CENIBRA, Caixa Postal 100, Ipatinga, MG, CEP: 35160-970. Fone: (31) 3829 5017. E-mail: fernando.leite@cenibra.com.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de Julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Avaliou-se, neste trabalho, a performance do modelo de Bristow & Campbell na estimativa da irradiância solar global (R_g) diária e média mensal. Utilizaram-se dados de junho de 2000 a maio de 2006 de Lagoa Grande, obtidos na estação meteorológica da Empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA). Avaliou-se o desempenho do modelo na estimativa diária e média mensal, utilizando os coeficientes originalmente propostos por Bristow & Campbell, bem como o coeficiente B anual ajustado e o coeficiente B mensal ajustado. A estimativa em base diária não apresentou boa correlação com os dados observados; entretanto, para a estimativa média mensal, os resultados foram mais satisfatórios. De todas as metodologias de estimação da R_g , os melhores resultados foram obtidos para estimativa média mensal de R_g empregando o coeficiente B mensal ajustado (coeficiente de determinação, R^2 , 0,88 e erro padrão de estimativa, EPE, $1,41 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

PALAVRAS-CHAVE: irradiância solar global diária, amplitude térmica e irradiância solar

ESTIMATION OF THE GLOBAL SOLAR RADIATION BY USING THE MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURES OF THE AIR IN LAGOA GRANDE- MG

ABSTRACT: This study evaluated the performance of the model by Bristow and Campbell in estimating both the daily global solar irradiance (R_g) and monthly average. Data relative to Lagoa Grande, for the period from June 2000 to May 2006 obtained in the meteorological station pertaining to Empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA) were used. The performance of this model in estimating both daily and monthly average of those irradiances were evaluated, by using the coefficients originally proposed by Bristow & Campbell, as well as the adjusted annual B coefficient and the adjusted monthly B coefficient. Although the daily estimate showed unsatisfactory correlation with the observed data, the monthly average estimate showed more satisfactory results. From those methodologies for estimating R_g , the better results were obtained for the monthly average estimate of R_g , by using the monthly adjusted B coefficient (determination coefficient, R^2 , 0.88, and estimate standard error, EPE, $1.41 \text{ MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$).

KEYWORDS: daily global solar irradiance, thermal amplitude, solar irradiance

INTRODUÇÃO: A energia proveniente do sol é a fonte primária de energia para todos os processos terrestres, e constitui o principal elemento meteorológico, que determina a variação dos outros elementos (temperatura, pressão, vento, chuva, umidade, etc). Assim, a irradiância solar é um elemento meteorológico primordial no entendimento da variação dos demais. Estudos concernentes à disponibilidade diária total e mensal de irradiância solar global são importantes no planejamento agrícola, pois, esta variável é fundamental para a determinação do saldo de radiação e, conseqüentemente a estimativa da evapotranspiração de uma determinada cultura. Para vários locais, os dados de irradiância solar global (R_g) obtidos por meio de instrumentos, (piranômetros ou actinógrafos) são inexistentes. Entretanto, existem muitas estações meteorológicas que, apesar de não medir esta variável, possuem registros de outras medições como de insolação, precipitação, umidade relativa, temperatura e pressão atmosférica, as quais podem ser empregadas para estimar, indiretamente, este elemento meteorológico. Na tentativa de solucionar estes problemas, vários métodos de estimativa da irradiância solar global a partir de variáveis meteorológicas, medidas em estações de superfície, vêm sendo utilizados nos últimos anos. Como exemplo, citam-se os modelos de ÅNGSTRÖM (1924), modificados por PRÈSCOTT (1940), que correlacionam a irradiância solar global (R_g) com o número de horas de brilho solar. Vários autores testaram a performance deste modelo e calibraram-no em diferentes locais do mundo. GLOVER & MCCULLOCH (1958) incrementaram este modelo, incluindo o efeito local da latitude, enquanto BENNETT, 1965 considerou o efeito da altitude. Outros autores também acrescentaram a influência de outras variáveis meteorológicas, como temperatura do bulbo seco e do bulbo molhado (Muneer et al., 1996 e 1997, citados por GUL et al., 1998), entre outras. Várias localidades não possuem registros históricos de insolação diária. Na tentativa de sanar esta limitação, alguns pesquisadores correlacionaram a R_g com outras variáveis meteorológicas: com a precipitação (McCaskill, 1990, utilizando a série de Fourier, citado por LIU & SCOTT, 2001), com a cobertura do céu (a citar: Black, 1956, citado por IQBAL, 1983). BRISTOW & CAMPBELL (1984) desenvolveram um modelo empírico, que estima a irradiância solar global (R_g) a partir das temperaturas máxima (T_x) e mínima (T_n) do ar e da irradiância solar no topo da atmosfera (R_0). Alguns autores testaram o modelo BRISTOW & CAMPBELL, tais como: MEZA & VARAS (2000) para várias localidades do Chile; LIU & SCOTT (2001) para 39 locais na Austrália; THORNTON & RUNNING (1999) em 40 estações nos Estados Unidos; FERRONATO et al. (2003) em Santo Antonio de Leverger, MT; e QUEIROZ et al. (2000) para Pelotas, RS. Tais métodos têm sido muito importantes em vários estudos, quando não disponibilidade de dados de irradiância solar global nem de insolação, nas estações meteorológicas. Por esta razão este trabalho teve como objetivo avaliar a performance do modelo de Bristow & Campbell na localidade de Lagoa Grande, Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS: Utilizaram-se dados de irradiância solar global e temperatura do ar referentes ao período de junho de 2000 a maio de 2006 obtidos em Lagoa Grande, Minas Gerais (latitude de 18°40'Sul, longitude de 42°55' e altitude 1012m), sendo esta estação pertencente à Empresa Florestal Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA. Adotou-se a metodologia proposta por Bristow & Campbell (1984), para estimativa da irradiância solar global (R_g) incidente na superfície terrestre, em função da irradiância no topo da atmosfera (R_0) e da variação das temperaturas máxima e mínima do ar (ΔT), conforme a equação:

$$R_g = R_0 A \left[1 - \exp(-B \Delta T^C) \right] \quad (1)$$

em que, as constantes empíricas são: $A = 0,7$; $B = 0,007$ (valor médio entre 0,004 e 0,010); e $C = 2,4$ - sendo estes os coeficientes citados na literatura. O parâmetro “A” representa a irradiância máxima em um dia de céu claro e os parâmetros “B” e “C” são os controladores da

variação de “A”, caso ocorra aumento na diferença de temperatura. A variação da temperatura foi calculada por:
$$\Delta T = T_x - \frac{(T_n + T_{n+1})}{2} \quad (2)$$

em que, T_x é a temperatura máxima do dia (°C); T_n é a temperatura mínima do dia (°C); e T_{n+1} é a temperatura mínima do dia posterior (°C).

A irradiância solar no topo da atmosfera (R_o) foi obtida, conforme a metodologia apresentada por IQBAL (1983). Primeiramente, estimou-se a R_g empregando os valores dos coeficientes A, B e C sugeridos originalmente por Bristow & Campbell. Posteriormente, ajustou-se o modelo de Bristow & Campbell, fixando os valores dos coeficientes A e C e calculando o valor do B médio. Para tal, utilizou-se a metodologia descrita a seguir, a fim de minimizar o erro.

- Calculou-se a transmitância atmosférica diária (τ), ou seja, a razão entre R_g e R_o e a variação da temperatura diária (ΔT), Equação 2.
- De posse dos valores diários de τ e de ΔT , calcularam-se os valores médios mensais sendo, portanto, possível estimar o valor médio de B, para cada mês em estudo. Finalmente, calculou-se o valor médio anual de B para cada localidade. O cálculo de B foi feito de

$$B = \frac{\ln(1 - \frac{\tau}{A})}{\Delta T^C} \quad (3)$$

sendo τ e ΔT valores médios, para cada mês envolvido neste estudo. Utilizando o valor médio de B para cada localidade, estimou-se a R_g diária. Na tentativa de melhorar a performance deste modelo, estimou-se a R_g diária por meio do coeficiente B médio mensal. Foram também estimados os totais diários médios mensais de R_g , utilizando-se o modelo de Bristow & Campbell, com os coeficientes originalmente propostos, bem como com os valores ajustados dos coeficientes B anual e mensal. Para tal calculou-se a R_o diária, média mensal. Para avaliar o desempenho da estimativa da R_g , calculou-se o coeficiente de determinação (R^2), o erro percentual (E%), em %, o erro médio (EM) e o erro padrão de estimativa (EPE), em $MJ.m^2.dia^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 e na Figura 1 podem ser visualizados os resultados obtidos na estimativa diária da irradiância solar global.

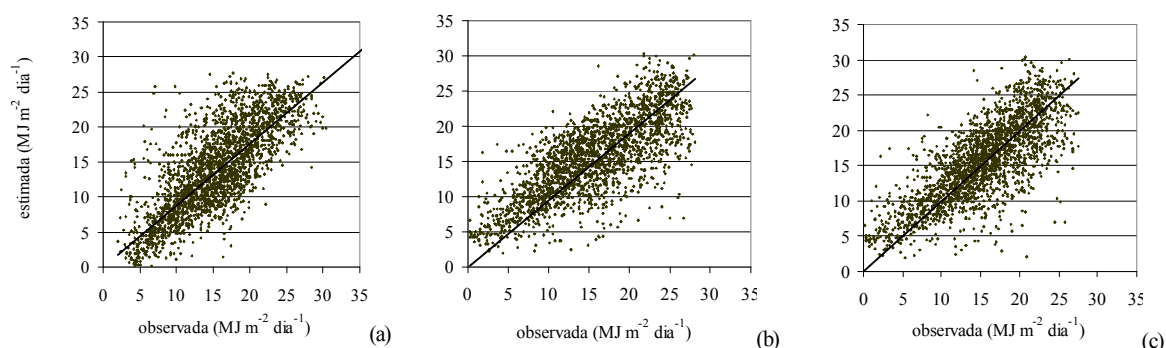


Figura 1. Irradiância solar global diária, observada e estimada, utilizando os coeficientes propostos originalmente por Bristow & Campbell (a), o coeficiente anual ajustado (b) e os coeficientes B mensais ajustados (c), para Lagoa Grande.

Verifica-se, na Tabela 1, que os R^2 não foram melhorados com o emprego das metodologias de ajuste através dos coeficientes B anual (0,008435) e mensais (Figura 2), por outro lado o

ajuste do coeficiente B permitiu uma melhora no a_1 , uma vez o aproximou da unidade, observa-se também uma redução nos erros (E%, EM e EPE), sendo que os melhores resultados na estimativa diária foram obtidos empregando os coeficiente B mensais. Observa-se na Figura 2 que os maiores valores de B ocorreram nos meses de inverno e o menor valor no mês de outubro, provavelmente em consequência de uma maior amplitude térmica (ΔT) em outubro e uma menor ΔT nos meses de inverno (Figura 2).

Tabela 1. Coeficiente de determinação, R^2 , coeficientes de inclinação da reta obtida entre os dados estimados e observados, a_1 , erro percentual, E%, erro médio, EM, e erro padrão de estimativa, EPE, obtidos com a utilização dos coeficientes propostos originalmente por Bristow & Campbell, com o coeficiente anual ajustado e os coeficientes B mensais ajustados, para Lagoa Grande, na estimativa da R_g diária.

Metodologia empregando	R^2	a_1	E% %	EM $MJ.m^2.dia^{-1}$	EPE $MJ.m^2.dia^{-1}$
Coeficiente B de B&C	0,45	0,88	-7,16	-1,46	5,07
Coeficiente B anual	0,35	0,96	2,55	-0,10	4,92
Coeficientes B mensais	0,40	0,99	1,46	-0,47	4,70

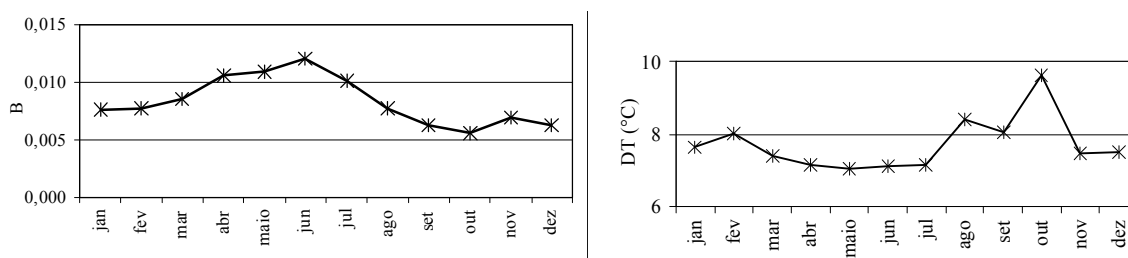


Figura 2. Coeficientes B médios mensais ajustados e amplitude térmica média mensal (ΔT).

Na Tabela 2 e na Figura 3, são apresentados os resultados obtidos na estimativa média mensal da irradiância solar global diária. Observa-se que a melhora no desempenho do modelo de B&C foi substancial, quando comparada com a estimativa diária da R_g , com maiores valores de R^2 , e menores erros, sendo que o melhor desempenho é observado na estimativa de R_g empregando os coeficientes B mensais, em que o R^2 foi de 0,88, o E% de -2,75, o EM de -0,45 $MJ.m^2.dia^{-1}$ e EPE de 1,14 $MJ.m^2.dia^{-1}$. Interessante observar que o modelo subestima a R_g tanto na estimativa diária quanto na estimativa média mensal.

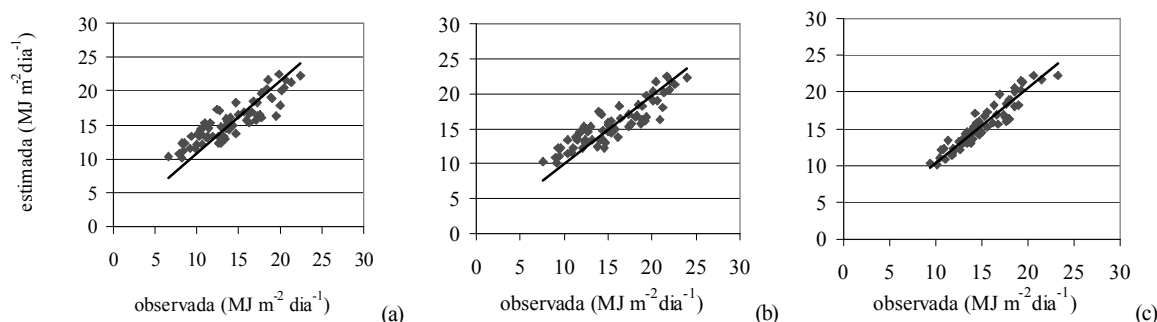


Figura 3. Irradiância solar global diária, média mensal, observada e estimada, utilizando os coeficientes propostos originalmente por Bristow & Campbell (a), o coeficiente anual ajustado (b) e os coeficientes B mensais ajustados (c), para Lagoa Grande.

Tabela 2. R^2 , a_1 , E%, EM, e EPE, obtidos utilizando os coeficientes B proposto originalmente por Bristow & Campbell, o coeficiente anual ajustado e os coeficientes B mensais ajustados, para Lagoa Grande, na estimação da R_g diária, média mensal.

Metodologia empregando	R^2	a_1	E% %	EM MJ.m ² .dia ⁻¹	EPE
Coefficiente B de B&C	0,56	1,08	-10,26	-1,45	2,29
Coefficiente B anual	0,63	0,99	-1,43	-0,10	1,85
Coefficientes B mensais	0,88	1,03	-2,75	-0,45	1,14

CONCLUSÕES: O modelo de Bristow & Campbell apresenta melhores resultados na estimativa média mensal da irradiância solar diária do que na estimativa diária. Sua performance é melhorada, empregando-se o coeficiente B mensal ajustado tanto na estimativa diária (R^2 de 0,40 e EPE de 4,7 MJ.m⁻².dia⁻¹) quanto na estimativa média mensal (R^2 0,88 e EPE 1,14 MJ.m⁻².dia⁻¹).

LITERATURA CITADA:

- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, London, v.50, p.121-1126, 1924.
- BENNETT, I. Monthly maps of mean daily insolation for the United States. Solar Energy, v.9, p.145-159, 1965.
- BRISTOW, K. L., CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and Forest meteorology. V.31, p.159-166, 1984.
- FERRONATO, A., CAMPELO JÚNIOR, J. H., BEZERRA, E. L., Mendonça. Estimativa da radiação solar global baseada em medidas de temperatura do ar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 13, 2003, Santa Maria. Anais..., Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003. CD-Rom.
- GLOVER, J., MCCULLOCH, S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, v.84, p.172-175, 1958.
- GUL, M.S., MUNEEER, T., KAMBEZIDIS, H.D. Models for obtaining solar radiation from other meteorological data. Solar Energy, v.64, p.99-108, 1998.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 1983. 390p.
- LIU, D.L., SCOTT, B.J. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. Agricultural and Forest meteorology. 106, p.41-59, 2001.
- MEZA, F., VARAS, E. Estimation of monthly solar global radiation as a function of temperature. Agricultural and Forest meteorology. v.100, p.231-241, 2000.
- PRÈSCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia, Adelaide, v.64, p.114-118, 1940.
- QUEIROZ, M. R., NOGUEIRA, C. B. R., ASSIS, S. V. Avaliação de um método empírico para estimativa da radiação solar global – Modelo de BRISTOW – CAMPBELL. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais..., Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000. CD Rom.
- THORNTON, P.E., RUNNING, S.W. An improved algorithm for estimating daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation. Agricultural and Forest meteorology, v.93, p.211-228, 1999.